

# マイクロマシン

## MICROMACHINE

- 巻頭言／2
- 研究室紹介／3
- MMCの事業活動紹介／5
- 賛助会員の活動紹介／12
- 海外だより／14
- トピックス／15
- 講座「最近の微細加工技術」(第3回)／18
- お知らせ／20

MICROMACHINE CENTER



財団法人 マイクロマシンセンター

No. 33

# 研究開発と 知的財産権の保護



特許庁審査第3部 上席審査長  
八日市谷 正朗

21世紀の三大技術分野はIT、バイオ、マイクロ&ナノテクノロジーである。これら先端分野では知的財産権の保護により研究開発が促進され新たな技術革新の契機となっているが、幾つかの課題もある。

ITでは、最近の携帯電話、インターネット等の爆発的普及が景気回復の牽引役となっている。通信・情報処理・画像処理等の各技術分野でのデジタル革命が急速に進展していることがその背景にあるが、電子商取引等でインターネットを利用した新しいビジネスが生まれ、それが更なる技術革新を呼び需要の拡大をもたらしている。ここでは、従来、保護対象でなかったビジネス方法を特許でどこまで保護すべきかが検討されている。

バイオでは、ヒトゲノムの解析が国際的な研究者チームと民間企業との競争の結果、ほぼ完了しつつある。得られた遺伝子情報は新薬開発や難病治療に大きな前進をもたらすであろう。ここでは、解析された遺伝子情報の特許保護のあり方が争点となっている。

マイクロテクノロジーでは、1991年度からMMCが推進してきた産技プロ「マイクロマシン技術の研究開発プロジェクト」による広範な研究開発や多くの大学・国立研による基礎研究の結果、製造技術の開発、機能の解明等の要素技術の開発からシステム化技術の開発へと着実に成果が発表され、新たなシーズが生まれており、今後は種々の応用分野での実用化に伴って新規産業創出に大きく貢献するものと期待されている。さて、この分野の知的財産権保護については、通産省やMMCの積極的姿勢もあって、既に、当プロ関係で500件余出願されているが、この数は従来の国のプロジェクトでは例を見ない多さである。なお、これ以外の出願を含めると我が国の総出願件数は2000件を越えており、米国の500件を遙かに凌駕している。しかし、我が国の問題点としては、大学・国立研関係の出願が研究論文数に比し少ない(せいぜい十件程度)ということである。

特に、ナノテクノロジーでは、2001年から開始される米国政府の重点的研究に対抗して、我が国でも新たな国のプロジェクトが計画されているが、大学・国立研等による基礎的研究開発が中心になると予想されることから、その知的財産権の保護は研究開発戦略にも大きく影響を与える。

一方、国公立大学・国立研は独立行政法人化の流れの中で財政基盤の強化が求められ、知的財産権の保護による収入確保が重要となっている。

そこで、大学等の研究成果の知的財産権の保護を容易にし且つその技術を企業に移転して企業化を促進するための「大学等技術移転促進法(TLO法)」(平成10年制定、文部省・通産省)について紹介する。

背景として、我が国の大学等には研究資源の多くが集中しているが、その成果が産業界において十分活用されてきたとは言えない状態にある。例えば、我が国の研究者総数の1/3強(25万人)が大学に在籍し、かつ国の研究資金の2割(3.1兆円)が投入されているにもかかわらず、大学からの特許出願は0.04%と極めて低水準にある。他方、米国では、1980年代に大学からの技術移転を促進する仕組みが整備されて、大学の研究成果を活用した企業化が飛躍的に進展し、これが新規産業創出の原動力となって、米国経済全体の活力再生に大きく寄与している。例えば、スタンフォード大学、MIT等では、年間相当数の特許を取得してそのロイヤリティにより研究費の拡大再生産を実現している(注:スタンフォード大学の2000年の収入は3500万ドルの見通し)。TLO法はこの米国で成功を収めている仕組みをモデルとしている。

TLOとは、Technology Licensing Organization(技術移転機関)の略称で、大学研究者の研究成果の特許化と企業への移転を行う法人で、いわば大学の「特許部」の役割を果たす。これにより研究者は研究に専念しながらその成果の特許化・産業化により更なる研究資金を得ることができる。

技術移転事業は、立ち上げ当初は収入が乏しい反面、特許の権利化等のため多額の先行投資を必要とすることから、TLO法では文部大臣・通産大臣により承認を受けたTLOに対して、助成金交付、債務保証、情報提供、特許料等の減免又は免除、技術移転専門家の派遣、移転先のベンチャー・中小企業者への支援、国立大学教官のTLOや移転先民間企業の役員兼業等の支援措置を講じている。なお、これまでに設立されたTLOは国立・私立大学等15機関に達し、更に幾つか計画されており、今後この制度の一層の活用が期待される。

## マイクログループやマイクロチャンネルを利用した熱制御要素

東京大学 生産技術研究所 教授(副所長) 西尾 茂文

東京大学生産技術研究所「情報・システム大部門」に所属する当研究室は、熱制御工学を研究分野としています。大学における工学学術研究は、要素現象、技術要素、および技術システムの3分野にわたり展開すべきとの信念から、具体的には以下の研究を手掛けています。まず、要素現象に関する研究として、(1) 蒸発・沸騰・凝固・凍結など液相の相変化現象、(2) 流体の振動により励起される熱輸送現象、(3) 狭隘な場に閉塞された熱流体現象などを扱っております。次に、技術要素に関する研究として、(4) ヒートパイプ、(5) ヒートシンク、(6) 冷凍機、(7) ソフトエンジンなどの開発、さらに、技術システムに関する研究として、(8) 鋼材などの素材製造システム、(9) 電子素子等の冷却システム、(10) 食品等の凍結保存システムなどの開発を行なっています。

以下では、“マイクロ”と冠することのできる研究のいくつかを紹介いたします<sup>1)</sup>。

### メニスカス蒸発現象とマイクログループ蒸発器

まず、(1) や (5) に関連する研究を紹介します。図1のように濡れやすい板の下端を液体に浸すと、曲率を持った液面すなわちメニスカスが形成されます。この場合、板を液体の沸点以上に加熱すると、メニスカスで蒸発が起ります。こうした蒸発メニスカスは、図1に示したように3領域に分けられます。thin film領域では、液膜内の分子が板を構成する原子による拘束を受けて蒸発が起り難くなります。一

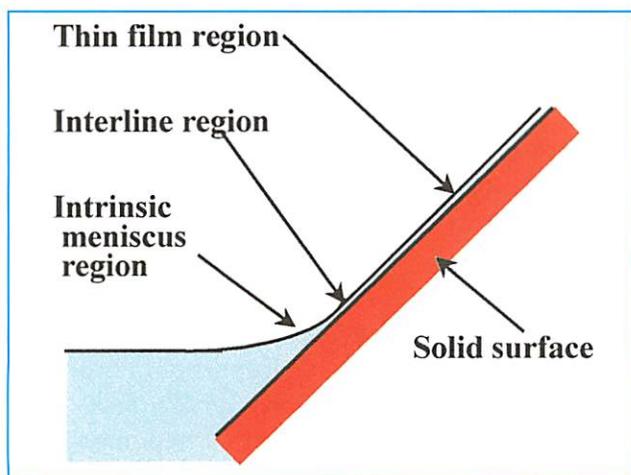


図1 メニスカスにおける3領域

方、intrinsic meniscus領域では液膜の厚みが抵抗となり蒸発が起り難くなります。したがって、中間のinterline領域でのみ強い蒸発が起ります。

このように強い蒸発が起るinterline領域を固体面上に密に配置できれば、極めてコンパクトな蒸発器が開発でき、エネルギー機器用蒸発器や宇宙用ヒートシンクなどとして有効です。

Interline領域は幅が $1\ \mu\text{m}$ 以下と言われているので、こうした状況を実現するには、例えば図1の固体面表面に高さ方向の微細な溝すなわちマイクログループを多数配置する方法が考えられます。つまり、溝により発生する毛管力を用いて液体を吸い上げ、溝内にメニスカスを閉じこめることにより溝に沿ったinterline領域を形成する方法です。問題は、溝内での液体の蒸発分だけ毛管力により液体を吸い上げる必要があることです。溝幅を細くすると、毛管力は大きくなりますが、同時に液体の流動抵抗も増え、溝を極端に細くすると、低い熱量でも固体面上端で液体が欠乏する現象すなわちドライアウトが発生してしまいます。

したがって、溝幅には、ドライアウト熱流束が最も高くなる最適値があることとなります。現在のところ、エタノールの実験ではこの最適溝幅が $100\ \mu\text{m}$ オーダーにあり、残念ながら上述の領域を顕在化するには至っておりません。

### 振動励起熱輸送現象とマイクロヒートパイプ

次に、(2) や (4) に関連する研究を紹介します。熱が移動する原理として熱伝導があります。単位面積・単位時間あたりに熱伝導で移動する熱量は、温度の勾配に熱伝導率をかけた値となります(フーリエの法則)。いま、熱量を電流密度、温度勾配を電位勾配、熱伝導率を電気伝導度に置きかえますと、フーリエの法則はオームの法則となります。このように、熱伝導と電気伝導とは法則的に相似な関係にあります。

しかし、熱伝導は電気伝導に比べて、超伝導体、完全絶縁体、あるいはダイオードが存在しないなどの大きな差があります。熱の超伝導やダイオードが原理的に開発困難であれば、これに近い機能を機構により実現することが望めます。熱の擬似超伝導を実現する要素を、ヒートパイプ(HP)と呼びます。代表例はウィック型HPで、両端を閉じて真空に引い

たパイプ内面に毛管力を実現する溝など（ウィック）を設け、パイプ中に少量の気体を封入することにより作成します。すなわち、このHPの一端を加熱し、他端を冷却すると、加熱端で封入液体が蒸発し、この蒸気は冷却端で凝縮し、凝縮液が管内面の毛管力により加熱端に戻るサイクルにより熱を運ぶことになります。

さて、半導体素子の発熱密度は増大の一途を辿っている一方、素子を内蔵する機器はコンパクト化の傾向を強めています。そこで、素子からの発熱を有効に拡散する薄型熱拡散板や、有効に環境空気に伝達するヒートシンクが不可欠となっています。薄型熱拡散板については、実用材料の中で最も熱伝導率の高い銅板を用いても有効な熱拡散は行なえません。そこで、HPを内蔵した熱拡散板の開発が必要となりますが、サブミリ程度の外径のウィック型HPでは、運べる熱量が毛管力の限界により十分ではありません。したがって、マイクロ化が可能な新しいHPが必要となっています。その一つに、当研究室で開発したCOSMOS-HPがあります。ウィック型HPが相変化を利用しているのに比べて、このHPは蛇行流路内に封入された液体に往復運動（振動流）させることにより生じる熱拡散促進効果を利用した非相変化型です。このHPでは振動流の振幅および周波数を大きくすると、見かけの熱伝導率が銅の熱伝導率を遥かに凌駕する値となります。このHPは液体を振動流とするための加振器を除いてウィック等の内部構造を持たないため、マイクロHPとして有望です。因みに、図2は、ダイヤフラム式加振器およびCOSMOS-HPを内蔵した熱拡散板で、内部に幅0.5mm程度の矩形流路が並列に17本配置されており閉流路を構成しています。また、COSMOS-HPは振動のon-offにより熱ダイオードとしても機能します。

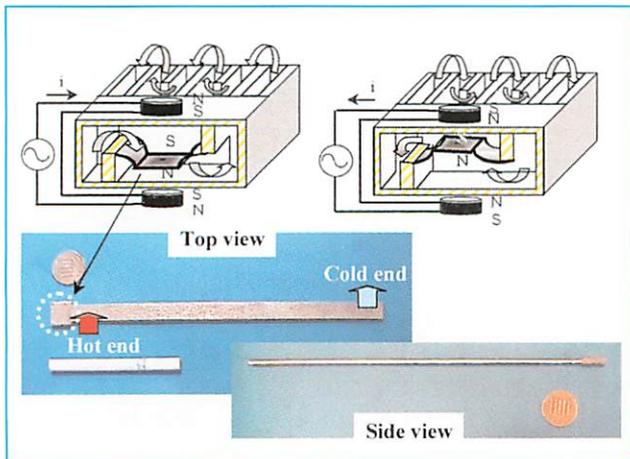


図2 COSMOS heat pipe

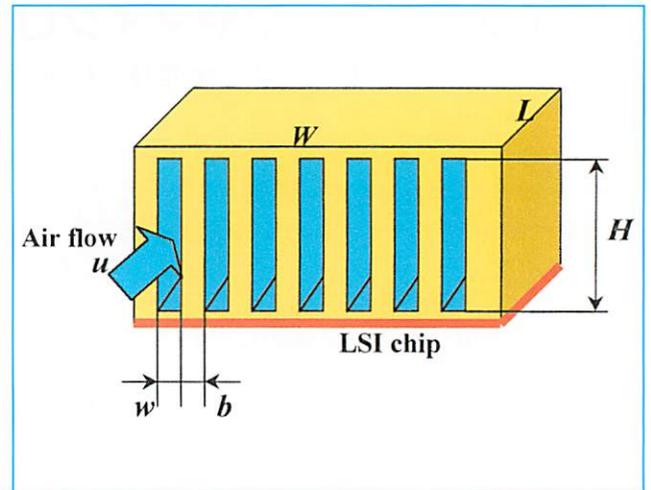


図3 マイクロチャンネルヒートシンク

### 場の拘束現象とマイクロチャンネルヒートシンク

最後に、(3) や (5) に関連する研究を紹介します。上述のように、半導体素子の進展とともに高性能空冷ヒートシンクの開発が必要となっていますが、空気の熱伝導率は極めて低いため、その開発には困難を伴います。

さて、伝熱学の知識によれば、熱伝達性能は空気中の温度分布を持った層の厚さ（境界層厚さ）に逆比例します。例えば矩形流路内では、温度境界層は流路幅の半分以上には厚くならないので、流路幅を狭くすると熱伝達性能が向上します。しかし、流路幅を狭くすると流体を流す駆動力も増え、マイクログループ蒸発器と同様に、最適な寸法が存在することになります。

当研究室で行なった最適化計算によれば、幅10mm、長さ10mm、高さ3mmのヒートシンク（図3参照）で数10W/cm<sup>2</sup>（近い将来に半導体素子が達する発熱密度）を処理する場合、ヒートシンク内の最適流路幅は0.1mm程度となります。こうした狭隘な流路を有するヒートシンクをマイクロチャンネルヒートシンクと呼びます。マイクロチャンネルにおける熱流動については、不明な点もあり、開発に向けて現在研究を進めています。

### 参考文献

- 1) S.Nishio, Attempts to apply micro heat transfer to thermal management, Keynote Lecture in Engineering Foundation Conference: Heat Transfer and Transport Phenomena in Microsystems, Banff, 2000.10.

## —平成11年度—

### 「マイクロマシン技術への他分野萌芽技術の適用に関する研究」その1

(財)マイクロマシンセンターでは多様なマイクロシステムの構築に必要な理工学を始めとする技術シーズの探索によって基礎技術の強化を図るために学、官、産共同で平成4年度から種々の技術シーズを調査テーマとして取り上げてきました。平成11年度は9テーマについて調査研究を行ってきましたが、今回4テーマの報告要旨をここに掲載いたします。

## 植物の各種環境応答機構におけるメカノセンサーとシグナル伝達に関する調査研究

東北大学 遺伝生態研究センター 教授 高橋 秀幸

植物の機械的刺激に対する応答は広くみられる。それは植物が各種のストレス環境に適応して生活するために重要であるが、そのための機械的刺激の受容の仕組みは、これまでほとんど不明のままであった。しかし、接触形態形成だけでなく、水・温度・重力など各種の環境応答においても、細胞レベルでは膜系などに働く機械的刺激が重要な役割を果たしており、それを受容するメカノセンサーあるいはメカノレセプターが存在することがわかってきた。

本調査研究では、メカノセンサーが関与すると考えられる植物の環境応答を網羅的に調査し、さらに植物のメカノセンサーについて細胞骨格、膜生理学、遺伝子発現、ホルモン制御の観点から文献調査、検証実験、研究方法の開発を含めて詳細な解析を行った。

植物の細胞は、膨圧による細胞壁の伸展によって成長する。したがって、成長している植物組織では、個々の細胞がそれぞれの組織における成長速度の違いから、圧縮したり伸展したりする。このように植物細胞は成長による機械的刺激を絶えず受容しており、それによって自らの成長制御を行っていると考えられる。タバコの培養細胞の髄では、前期前微小管束によって制御される細胞分裂面は、圧縮方向に対して垂直方向に位置している。また細胞の伸長方向は、圧縮や引っ張りが引き起こす細胞表層微小管の配向変化によって制御されることも考えられる。その点本調査研究でも、この微小管配向の変化が水分屈性、重力屈性、重力形態形成、接触屈性の発現に関与することを検証できたことは重要である。また、車軸藻の仮根の重力屈性では、平衡石の沈降が原形質膜や小胞体と連絡するマイクロフィラメントを機械的に刺激して、ストレッチ(引っ張り)誘導性のカルシウムチャンネルを活性化させることが提唱されている。一般的な根の重力感受細胞では、今後、この平衡石とマイクロフィラメントの関係を証明する必要がある。

細胞内での物質の能動輸送系である原形質流動は、流動の制御機構との共同作用のもと、生理的に重要な役割を果たしている。その制御機構の中心的役割を、 $Ca^{2+}$  が果たしていることがわかっている。そこで細胞内での能動輸送系としての原形質流動と、その制御機構、さらに機械刺激受容性のカルシウムチャンネルがこれの制御に係る

ことの可能性について調査・解析した。その結果、細胞内カルシウムの上昇のためにカルシウム源が細胞外と細胞内の場合が存在し、いずれにもメカノセンサーが関与する場合が考えられた。車軸藻類のヒメフラスモでは、細胞質への水の流入が細胞内カルシウム濃度を上昇させるが、細胞内への水の流入は細胞内膜系(細胞内カルシウム集積小器官)に存在するカルシウムチャンネルを活性化させることが示され、さらに、このカルシウムチャンネルがメカノセンサーである可能性がでてきた。

この植物のメカノセンサー研究が進展した背景には、接触刺激によって誘導される遺伝子が同定され、それがカルモデュリン関連遺伝子であったこと、さらに、各種の植物の環境応答機構におけるカルシウムイオンの関与の仕方が明らかにされたことなどがある。その結果、植物のメカノセンサーとして、ストレッチ誘導性のイオンチャンネルやMAP kinase系が本質的な役割を果たすことを示す証拠が得られつつある。機械的刺激を含む様々な刺激により、遺伝子レベルで発現誘導が生じる植物の分子種には、動物において既に指摘のある細胞内シグナル伝達に関わるタンパク質リン酸化酵素ならびにそのセカンドメッセンジャーとしてのカルシウムと密接に係る遺伝子群が多数含まれることが明らかにされている。

一方、動物においては、ストレスがこれらシグナル伝達に関わる遺伝子群の転写を誘導するという報告はほとんどなく、一般には、これらシグナル伝達経路の遺伝子群はある一定量細胞内に常に存在し、タンパク質のリン酸化などの翻訳後修飾を介して各種刺激のシグナル伝達を行うことが知られている。以上の点は、動物と植物の間で大きく異なっている。本調査研究では、これらの過程で重要な分子種と考えられるカルシウム依存性タンパク質リン酸化酵素をコードする遺伝子を植物から単離すると同時に、それを含めたメカノセンサー関連遺伝子を網羅的に単離・同定する方法を考案した。

以上のように、メカノセンサーは生物界に普遍であると考えられるが、植物では細胞膜および細胞内膜の両方に存在するらしい。今後、この仮説を証明するとともに、このようなメカノセンサーがどのようにして植物の多様な環境応答を誘導するのか、そのメカニズムを解明する必要がある。

# Power MEMS 技術に関する調査研究

東北大学 未来科学技術共同センター 教授 江刺 正喜

マイクロマシンは高感度・高精度のセンシング、あるいは、高精度・高分解能のアクチュエーションを実現できるが、一般的に、大きなエネルギー、仕事、力、あるいは、変位を発生することが難しい。

一方で、出来るだけ小さな体積から大きな出力を得たいという要求は多い。このような要求を実現するために、従来のマイクロマシンより大きな出力を発生する微小電気機械システム (power micro-electromechanical system: power MEMS) が研究されている。ガソリンエンジン自動車を電気自動車と比較すれば明らかのように、燃焼などの電池以外の方法で化学エネルギーから出力を得るシステムは、高い出力密度を実現できる。

一般的に、ガスタービンやガソリンエンジンなどの熱形エンジンの出力密度・エネルギー密度は、高性能電池と比較しても1桁程度高い。したがって、燃焼などの電池以外の方法で化学エネルギーから所望の運動または電気エネルギーを取り出すpower MEMSが研究されている。

Massachusetts Institute of Technology (MIT) では、シリコンマイクロマシニングを用いてロータ径10 mm以下のマイクロガスタービンを研究・開発する大規模なプロジェクトが進行している。小形電池と比較したマイクロガスタービンの特長は、リチウム電池などの高性能電池と比較しても、出力密度とエネルギー密度とが1桁程度高いこと、および、2次電池は充電に時間がかかるのに対して、マイクロガスタービンは燃料を補給するだけですぐに使えることである。

現在までに、いくつかの試作機・試験機が製作されて、回転試験や燃焼試験などに供されているが、マイクロガスタービンの自立運転は実現されていない。

東北大学を中心としたグループも、独自にマイクロガスタービンの研究を進めている。現在までに、直径5, 10 mmの焼結炭化珪素製マイクロロータの試作、マイクロエタービンの試作・回転試験、および、computational fluid dynamics (CFD) によるマイクロタービン内部流動の数値解析などが行われている。

米国National Aeronautics and Space Administration (NASA) やJet Propulsion Laboratory (JPL) を

中心として、マイクロ人工衛星の姿勢制御用マイクロスラスタが研究・開発されている。重量が1 tを超える巨大人工衛星は、長期の開発期間と巨額の打ち上げ費用とがかかるので、必要な打ち上げ頻度を維持することができなくなっている。

このような背景から、米国を中心に人工衛星・惑星探査機を1-10kg程度と画期的に小形化する計画が進んでいる。超小形人工衛星に搭載される姿勢制御用スラスタは、たとえば、数センチメートル四方以下と超小形化しなくてはならないので、従来技術の延長では製作できない。

したがって、マイクロマシン技術を用いてスラスタを製作することが必須となる。現在までに、マイクロマシン技術を用いて、コールドガスジェット・レジストジェット・固体燃料ロケットエンジンなどが試作されている。

ウェアラブル情報端末は身体に装着できる小形の情報端末である。将来的に、ウェアラブル情報端末は身体に取り付けたセンサによって、様々な情報を自動的に感知・処理・送信する機能を装備して、健康モニタや位置モニタに用いられるようになる。その他に、ウェアラブル情報端末を動物や人工物に取り付ければ、動物の追跡調査、あるいは、地球環境保全のための化学物質の多点同時測定などにも応用できる。

このときのキーテクノロジーは、ウェアラブル情報端末へのエネルギー供給技術である。電池の交換や充電ができない、あるいは、利便性を損ねる上述のような用途では、マイクロ発電機が必要になるので、振動によって発電するシステムなどが提案・試作されている。しかし、これらは発電量が不十分・不安定であるので、限られた電力を効率的に利用する回路などと組み合わせる必要がある。

エネルギー有効利用・省エネルギー技術の具体例として、腕時計のAGS (Automatic Generating System) に用いられているスイッチトキャパシタ昇圧回路、および、振動発電による自立給電digital signal processor (DSP) システムなどがあり、これらをpower MEMSと組み合わせることが期待される。

# マイクロマシン技術と生体計測技術の融合に関する調査研究

東京電機大学 理工学部 応用電子工学 教授 福井 康裕

医療分野とマイクロマシン技術の融合は、マイクロマシン技術の応用として、最も期待されているものの一つであり、研究も盛んに行われている。しかしながら、現在までに実用化に至った例は少なく、医療現場での要求とマイクロマシン技術の現状を明らかにする必要があると考えられる。本稿では、

[1] まず医療現場から見たマイクロマシン開発に対する希望と要求を、診断面と治療面から調査している。

診断面からは、(a) 検査機器の小型化、(b) 無侵襲検査と微量検体、(c) ベッドサイドにおける検査、(d) マイクロカプセル、(e) 検査の精密化、(f) 在宅医療、(g) 電子カルテと光磁気カード、治療面からは、(a) 低侵襲・無侵襲治療、(b) マイクロカプセルによる治療、(c) ミクロレベルの治療などである。

[2] さらに、近年注目される以下の5つのテーマについて調査研究を実施している。

## 2・1 DNAチップ

DNA解析に必要な抽出・分離・検出などを全て一つのチップ上で実現する全く新しいDNA解析技術のマイクロチップ・ナノチップテクノロジーについて調査している。これは、半導体集積化技術を駆使して微細加工する技術で、数万個のサンプルでさえも数秒で解析可能にするものである。さらに、DNAチップに関係する流体の駆動方法として、シリンジポンプや微細加工ポンプ、さらには電気泳動技術について動向調査が行われている。

## 2・2 キャピラリー電気泳動

キャピラリー電気泳動はクロマトグラフィーの一手法であるが、このシステムのガラスキャピラリーを平面基板上に形成したチップ電気泳動をDNA分析に応用する研究が世界各地で精力的に展開されている。このキャピラリー電気泳動を用いたmTAS (Micro/Miniaturized Total Analysis Systems:mTAS) 分析システムの大きな特徴は、電気浸透現象による送液が可能のため、ポンプやバルブといった機械的な動力部品が必要ないということである。このため、電圧を印加するだけで流体の制御が可能であり、チップ機構の単純化とシステム全体の小型化に有利である。本節ではキャピラリー電気泳動およびこれを

利用したmTASについて述べている。

## 2・3 液体素子

mTASは機械式流体制御機構を持つMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型、キャピラリー電気泳動システムを平面基板上に形成し、連続的な流れの中で分析を行うフロー型のシステムと微小なチャンバーをマトリックス状に形成しその中で反応・分析を行うバッチ型システムに大別される。フロー型のシステムはシステムを構成する個々要素をマイクロ化し、要素間を接続する微小流路を形成した平面基板上に並べた2次元的な構造を持つことに特徴がある。フロー型システムで特に重要となる流体の性質、およびそれを考慮した混合器、およびマイクロポンプやマイクロバルブなどのマイクロ流体制御素子について現状を紹介する。また、マイクロ分析システムやマイクロ流体素子の設計に有用なCADシステムとその応用例について述べる。

## 2・4 光計測

生体計測における光計測関連のマイクロマシン技術の応用分野として、最も適している分野は、生化学分析、特に臨床化学分析分野であると考えられる。

光を使用した臨床生化学分析では、(1) 目的物質のみを検出するための分離、(2) 目的物質を工学的に検出するためのラベル化、(3) 適切な分光測定方法による定量計測が必要となる。

本節ではこのような光を使用した生化学分析の最近の動向について、マイクロ化という立場から概説する。

## 2・5 センサ

本節では特に、マイクロマシン技術を利用した微細加工技術によって実現し得る、以下の生体計測センサについて述べている。

(a) カテーテル搭載用センサ、(b)mTAS、(c) 腕時計型脈波測定装置

[3] そして上記技術の応用例として、現在開発が進められている、低侵襲・非侵襲の以下の生体計測機器を紹介している。

(a) バイタルサイン計測への応用、(b) 生体計測機器への応用、(c) 治療機器への応用

# マイクロマシン技術との融合化による人工臓器の高度化可能性に関する調査研究

東京大学 先端科学技術研究センター 助教授 鎮西 恒雄

近年、我が国でも脳死臓器移植が行われるようになったが、倫理的議論、法制度、絶対的な数量不足など様々な問題点が未解決のままに推移している状況である。

人工臓器はこのような脳死臓器移植で明らかになった問題点を避け得る技術であるが、現状では臓器移植に成り代わられるまでには成熟していない。本報告では、人工臓器の研究・開発の現状と問題点について調査を行い、マイクロマシン技術を応用することで人工臓器の開発を促進できる可能性について探った。また現在、人工臓器の開発に遺伝子工学、組織工学的手法が取り入れられつつあるが、この展開においても今後マイクロマシン技術は重要な役割を担うと予想される。そこで生体細胞を用いた人工臓器の開発に必要な技術とマイクロマシン技術との関連についても調査を行った。

本調査は、人工臓器の開発において特にマイクロマシン技術と関連が深い下記の項目に着目して報告をまとめた。

## 1) 小型・分散型人工臓器

生体の臓器、特に心肺、肝胆膵腎、消化器等の内臓系は生体のなかで一塊となって存在している。その一方で、皮膚、血管系、リンパ系、骨筋肉系は全身にあまねく存在している。また神経系のように中枢をもちながら全身に枝を張り巡らしているような存在形態もある。このような生体内での臓器の存在形態から離れて、人工臓器を生体内に配置することで生じる利点と技術的問題点について、小型・分散型人工心臓を中心に調査した。このような小型人工臓器は、体外で生体細胞から臓器を誘導し、維持する上でも今後重要な開発課題となる。

## 2) 人工臓器におけるマイクロセンシング技術

人工臓器を生体と調和して作動させるためには、生体の状態を計測する各種のセンサが必要である。これらのセンサは早くからマイクロマシン技術を応用して小型化する試みがなされてきた。例えばマイクロ圧力センサはマイクロマシン技術の医療応用の嚆矢であり、現代医療に不可欠な要素部品となっている。人工臓器においてセンシングする対象は、血圧、血流量、気道圧、体温などの物理量と、インスリン濃度、血糖値、酸素分圧などの化学量がある。いずれのセンサも生体と何らかの形で接触を保ちながら、物理量、化学量を計測する。そこで問題となるのは生体と人工物の界面における安定性である。また物理量センサでは計測の長

期安定性が、化学量センサでは耐用時間が問題となっている。

## 3) 人工神経・人工感覚器

人工神経とは生体の神経系と電子回路を接続し、情報を授受する人工臓器である。生体の神経系と電気的な接続を得るためにマイクロマシン技術を応用してさまざまな神経電極が開発されている。また、電気的な信号を用いて生体と情報を授受するコーディング規則も、まだ手探り状態ではあるが徐々に解明されつつある。ここで開発された技術は、聴覚障害への対応として人工内耳や脳性聴覚インプラントなど初期製品が市場に投入されるレベルに達した。これらの製品では、聴覚障害にある程度の聴覚をもたらしたが、その感覚の質はまだ健常人と比較するとはるかに及びがたい。これは生体と情報を授受するコーディング規則の解明が不十分であり、生体に適切な信号を伝達できていないためである。今後、質の高い信号を伝達するために多数の神経電極の立体的な集積化を中心とするデバイス開発、対象となる神経ファイバの選択等のマイクロセンシング技術などマイクロマシン技術の応用が不可欠な分野である。

## 4) 人工間質によるハイブリッド組織

各臓器組織において細胞はその組織独自の構造をもって配置されている。細胞同士の間を埋める細胞間質は、このような組織構造を維持するのみならず、細胞へのあるいは細胞からの種々の物質の運搬系、化学因子を通じて細胞間情報を伝える伝達系を構成している。このような構造をもった細胞間質は、単純に細胞を培養するだけでは生じない。そこで、生体細胞を用いた人工臓器開発のアプローチの一つとして、培養細胞を人工的な細胞間質を用いて生体組織に似せて構造化し、臓器としての機能を発現させる試みがなされている。マイクロマシン技術は人工間質をなす高分子化合物の改質や成形、細胞配置の制御などに応用されている。

## 5) メカニカルストレスによる細胞の形態・機能の制御

メカニカルストレスに対する細胞の反応として、形態、細胞機能、遺伝子発現に変化が起きることが解明されている。生体細胞を用いた人工臓器開発において、メカニカルストレスを適切に使用することで、細胞間質の誘導、組織構造の形成を促せる可能性がある。そこで、メカニカルストレスに対する細胞形態の計測・制御、細胞膜の分子レベルでの計測・制御にマイクロマシンを応用する可能性について探る。

## 福井マイクロマシンセミナー開催される

福井マイクロマシンセミナーは、平成12年9月22日(金)の午後、当センター、(財)福井県産業振興財団及び福井県工業技術センターが主催、福井大学地域共同研究センター、福井工業高等専門学校先進技術教育研究センターの後援により、福井市の福井県工業技術センターで開催されました。

本セミナーでは、最近のマイクロマシン技術を解説するとともに、現在(財)マイクロマシンセンターを中心に進められている産業科学技術研究開発制度プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」の概要説明と4件の具体的成果が紹介されました。

また、休憩時間には、会場に持参したマイクロマシン技術のポータブル展示品「1mmφSMAマイクロアクチュエータ」(オリンパス光学工業(株))及び「てんとう虫型アクチュエータ」(三洋電機(株))について、本間一弘部長より展示説明が行われ、また、河合知彦氏によりマイクロ超精密加工試作品の紹介が行われ、マイクロマシン技術について聴講者に知って頂くよい機会となりました。

福井県工業技術センターの松尾光恭創造研究部総括研究員に司会と、座長をして頂きました。

講演では、福井県工業技術センター前田政見創

造研究部長の挨拶に続き、MMC平野隆之専務理事、湘南工科大学北原時雄教授、MMC本間一弘研究部長がそれぞれ「MMCの事業について」、「マイクロマシンの特徴」、「第2期マイクロマシンプロジェクトの概要」について講演を行いました。

さらに、産業科学技術研究開発制度プロジェクトの成果紹介では、次の講演を行いました。

### 「分散マイクロマシンのパターン形成技術」

川崎重工業(株) 技術総括本部 下村芳樹氏

### 「基板積層型マイクロ光スキャニングセンサの研究」

オムロン(株) 技術本部中央研究所 戸谷浩巳氏

### 「形状自在二次電池の開発」

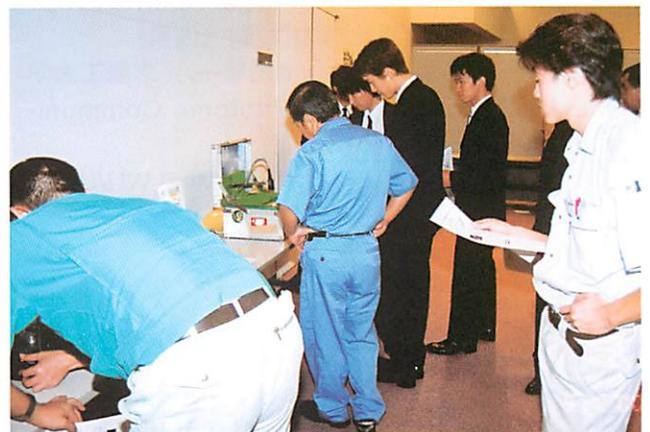
三菱マテリアル(株) 総合研究所 村石賢介氏  
「機械加工によるマイクロ超精密加工事例について」

ファナック(株) 基礎技術研究所 河合知彦氏

このセミナーに寄せる関心は高く、福井県内及び茨城県の精密機械工業や繊維工業、眼鏡フレーム加工業、半導体プロセス・材料に関連する32社からの聴講者55名と、大学・研究所・公的機関等からの聴講者45名を合わせて100名が参加し、講演に対して活発な質疑応答が行われ、有意義なセミナーとなりました。



福井マイクロマシンセミナー風景



マイクロマシン技術のポータブル展示風景

## 第6回国際マイクロマシンシンポジウムいよいよ開催

秋の恒例イベントとなった国際マイクロマシンシンポジウムは今年で第6回を迎えます。今年も例年通り、東京・北の丸公園内の科学技術館サイエンスホールにて、11月9日(木)・10日(金)の両日に開催されます。

今回のシンポジウムは、組織委員会(委員長:中島尚正東京大学大学院教授)が企画立案を行い、プログラム委員会(委員長:藤田博之東京大学教授)が具体的なプログラムと招待講演者を決定しました。さらに、今年、広島で開催された第6回マイクロマシンサミット参加の欧米諸国の首席代表9名からなるアドバイザリーボードを設置し、国際的視点からも充実した内容とするべく準備をしてきました。

第一日目は、招待者による講演を行います。開会冒頭のセッション1「オープニング」では、通商産業省、工業技術院、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの来賓ご挨拶に続き、東北大学副総長 仁田新一先生の「マイクロマシンと人工臓器の発展」と題する特別講演が予定されています。マイクロマシン技術と人工臓器に関して、幅広い視点から貴重なお話を伺えるのではないかと期待しています。

引き続き、第一日目の午前中には、産業化について次の4つの講演をお願いしています。

### セッション2 「マイクロマシン産業への途」

「International Collaboration in MEMS」

Dominique COLLARD/IEMN

「MEMS Standardization Course」

Michael GAITAN/NIST

「マイクロマシン実用化への課題」(仮題)

池田恭一/東京農工大学

「MEMS Opportunities in Photonic Communication Networks」

Ming WU/UCLA

昼食をはさんで、午後は3つのセッションを企画しました。

まず、午後最初には「マイクロマシン考」のセッションを予定しています。本セッションは、マイクロマシンの将来について幅広い視点から考えようという趣旨で企画され、毎年好評を頂いているもので

す。本年度は、健康をキーワードにマイクロマシンとの関連を考えてみることにしました。本分野で先端の研究が行われている3名の方を内外からお呼びします。

### セッション3 「マイクロマシン考 -健康とマイクロマシン-」

「ありふれた病気」へのアプローチ—新しい有用遺伝子と有用多型はどうしたら探索できるか?

板倉光夫/徳島大学

「Telehealth and ICT Industries」

Masako Miyazaki /University of Alberta

「手術支援ロボットの実際と今後の課題について:ダビンチの使用経験から」 橋爪誠/九州大学

次に、海外から4名の方々をお呼びし、海外の最新動向を紹介して頂きます。

### セッション4 「海外の動き」

「From Research to Applications : Experience of HSG-IMIT」

Hermann SANDMAIER/IMIT

「イタリアの最近の動向」(仮題)

Paolo DARIO/Scuola Superiore Sant'Anna

「Activity in Canadian MEMS Research and Commercialization」

Dan GALE/Canadian Microelectronics Corp.

「Recent Micromachine Research and Development Activities in Korea」

Young-Ho CHO/KAIST

初日最後には、今後、大きな展開が期待される新しい研究の動きについて4名の方々に紹介して頂きます。

## セッション5「革新研究紹介」

「高出力微小電気機械システム (Power MEMS)」

田中秀治/東北大学

「マイクロ熱設計技術」(仮題)

井上剛良/東京工業大学

「マイクロチップによる化学/生化学の新展開」

藤井輝夫/東京大学

「マイクロマシン技術のマイクロ波・ミリ波応用」

水野皓司/東北大学

二日目は、通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度プロジェクト(産技プロジェクト)「マイクロマシン技術の研究開発」の進展状況を報告します。

まず、工業技術院の山口佳和研究開発官による総論の後、3つの国立研究所(機械技術研究所、電子技術総合研究所、計量研究所)の方々にマイクロマシン技術の研究紹介と将来展望等について講演をお願いしています。次に、当センター研究開発部会長と4人のワーキンググループ主査により、産技プロジェクト第2期研究開発の概要と技術動向調査についての報告が行われます。引き続き、産技プロジェクトの最新成果の詳細について研究賛助会員各社の研究者より説明が行われます。講演者と講演タイトルは次の通りです。

## セッション6「産業科学技術研究開発制度プロジェクト“マイクロマシン技術の研究開発”の進展状況」

「産業科学技術研究開発制度とマイクロマシン技術の研究開発」

山口佳和/通商産業省工業技術院 研究開発官  
「機械技術研究所におけるマイクロマシン技術の研究開発」

小鍛冶繁/通商産業省工業技術院 機械技術研究所  
「電子技術総合研究所におけるマイクロマシン技術の研究」

平井成典

/通商産業省工業技術院 電子技術総合研究所

「計測標準とマイクロマシン」

田中充/通商産業省工業技術院 計量研究所  
「マイクロマシンプロジェクトの概要」

安宅龍明

/(財)マイクロマシンセンター 研究開発部会長  
「管内自走環境認識試作システムについて」

川原伸章/(財)マイクロマシンセンター W/G主査  
「細管群外部検査試作システムについて」

武田宗久/(財)マイクロマシンセンター W/G主査  
「機器内部作業試作システムについて」

太田亮/(財)マイクロマシンセンター W/G主査  
「マイクロファクトリ試作システムについて」

古田一吉/(財)マイクロマシンセンター W/G主査  
「マイクロ塗布デバイスの開発」

入佐耕一/(株)アイシン・コスモス研究所  
「ディープX線リソグラフィーを用いた微細加工技術によるマイクロコネクタの開発」

蟹江智彦/住友電気工業(株)

「ウェハーレベルのMEMS三次元積層技術」

佐藤倬暢/(株)フジクラ

「マイクロマシンの微小力、トルク計測」

尾上寧/横河電機(株)

「細径能動湾曲カテーテルの研究開発」

安達英之/オリンパス光学工業(株)

「マイクロ構造の超精密加工技術」

寺嶋洋也/ファナック(株)

「2次元搬送デバイスの開発」

渡辺泰正/(株)富士電機総合研究所

なお、第11回マイクロマシン展が同じ科学技術館1階において11月8日から併催されます。当センターの研究賛助会員を始め、マイクロマシンに関連する企業・大学・団体等からの展示が行われます。賛助会員企業と3国研からは産技プロジェクトを中心とするマイクロマシン技術関連の具体的な成果が展示されます。本シンポジウムと併せ、マイクロマシン展を見学されることにより、効果的にマイクロマシン技術を理解する絶好の機会です。本シンポジウム参加者は、参加証を提示することで、マイクロマシン展に自由に入場できます。

シンポジウム参加登録申し込みは、10月27日が期限です。席に余裕がある限り、当日でも受け付けますので多くの方々の参加をお待ちします。

# 三洋電機株式会社

### 1. マイクロマシン技術への取り組み

新しい21世紀を目前に控え、今まさに、インターネットに代表されるIT関連や地球規模での環境保護に対応した技術革新が急速に進んでいます。三洋電機では、このような技術革新に対応するために、早くからコーポレートスローガン「人と・地球が大好きです」を掲げ、人にやさしい「マルチメディア」と地球にやさしい「クリーンエネルギー」を2大技術戦略として研究開発を推進しています。その中において、マイクロマシン関連技術を、21世紀における当社の事業分野を革新する可能性のある基盤技術として位置づけ、産技プロジェクトに参画しながら、要素技術開発を推進してきています。

### 2. マイクロマシン技術の研究開発状況

産技プロジェクトにおけるマイクロマシン技術の開発では、発電施設の配管内を無索（ワイヤレス）で移動し、配管内壁の環境情報を外部へ伝送する「管内自走環境認識システム」の開発を通して、本システムに搭載する、光を用いて無索でエネルギーを伝送する光エネルギー伝送のシステム化技術の開発に取り組んでいます。

これまでに高電圧マイクロ光電変換デバイス（世界最高の $207\text{ V/cm}^2$ の電圧を発生）や曲面実装マイクロ光電変換デバイス（ $2\text{mm}$ の曲率半径まで実装可能）を開発してまいりました（図1）。

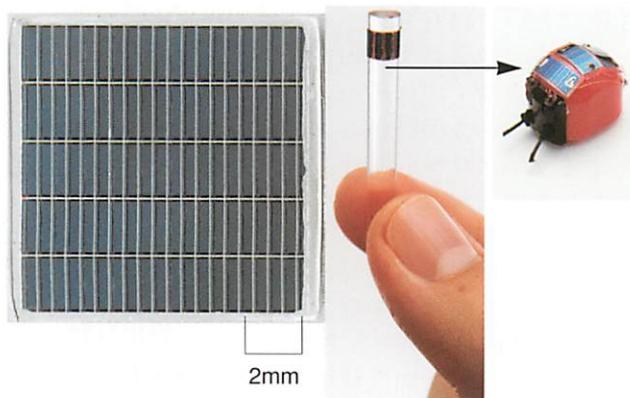


図1 高電圧マイクロ光電変換デバイス（左）と曲面実装マイクロ光電変換デバイス（右）



執行役員 研究開発本部長 寺田 房夫

これらマイクロ光電変換デバイス形成技術をベースとし、新たに光通信機能を融合した光エネルギー伝送デバイスにおいて、高電圧化や高出力化等の高度化技術や、多種類の電圧供給が可能な高機能エネルギー供給技術等のシステム化技術の開発に、現在、取り組んでいます。

その中で、最近開発した成果として、「高集積微細配線形成技術」と「多種電圧供給技術」があります。前者では、微小構造物内の任意個所での電気的接続を行うために、2波長励起での直描式レーザーCVD法によりタングステン析出物を選択的に形成し、高ステップカバレッジ微細配線の高速形成（約 $10\mu\text{m/s}$ ）を実現しています（図2）。後者では、管内自走環境認識システムに搭載可能な、 $10\phi\text{mm}$ の中に $80\text{ V}$ と $-7\text{ V}$ の電圧を供給できる光電変換デバイスを開発しています（図3）。

### 3. 今後の取り組み

産技プロジェクトに参画する中で蓄積してまいりました要素技術としての高精度微細加工技術や、マイクロマシン用光エネルギー伝送技術等を、今後、発展させながら、当社における新規事業分野への適用を図り、世の中に無い市場創造型商品の開発を推進していきたいと考えています。

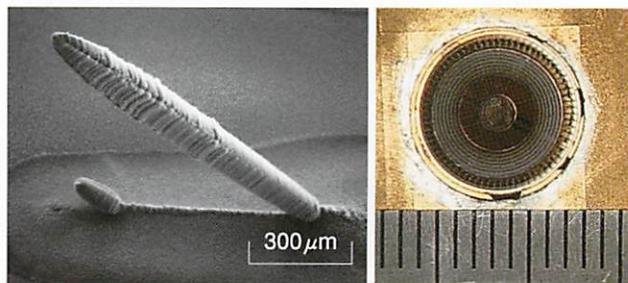


図2 タングステン微細配線

図3 マイクロ光電変換デバイス

# 住友電気工業株式会社



播磨研究所所長 高田 博史

## 1. マイクロマシン技術への取り組み

情報通信技術の急速な発展は、その担い手である電線・ケーブルを主製品とする当社にも、計り知れない規模のビジネスチャンスを与えています。この時代の流れをうまくつかみ、飛躍していくには、これまでに蓄積してきた技術の発展のみならず、革新的な技術とのインテグレーションが欠かせません。私たちは、その一つとして当社のシンクロトロン放射光 (SR) 技術を基盤としたLIGA技術に着目し、研究開発を行っています。

## 2. マイクロマシン技術の開発

当社では、国プロに参画してLIGAプロセスの要素技術開発とその応用研究を行ってきました。

まず第1期においては、従来中型SRで行われていた深いリソグラフィを産業用小型SRで可能とするため、高感度レジスト及び高透過性マスクの開発を行いました。さらにレジスト型にスラリーをモールドし焼成する技術を開発し、従来のセラミックス微細加工限界である $100\mu\text{m}$ を $20\mu\text{m}$ 以下にまで向上させることができました (図1参照)。これによって、開発対象の水中における小型の信号発振デバイスとして、微細な圧電セラミックス柱が樹脂シート中に林立した複合圧電素子を実現しました。この素子は、高分解能、高S/N比、広帯域等の多くの特長を有しています。これまでの超音波検査の課題をブレイク

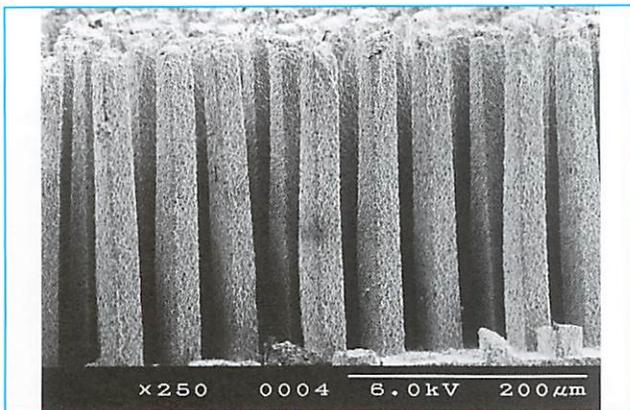


図1 微細セラミックス柱列  
( $25\mu\text{m}$ 、高さ $250\mu\text{m}$ )

スルーできるため、量産プロセスを開発し、製品化しております。

第2期においては、細管群外部検査システム用のマイクロコネクタの開発に取り組んでいます。このコネクタには、自動着脱を行うための電磁式アクチュエータが装備されており、アクチュエータ構造と図2に示す端子構造との組合せによって大きな位置ずれ裕度を持ったコネクタシステムが実現できています。コネクタは、今後高密度化が進展する電子部品実装などの分野で、実用化の可能性が高いと考えております。

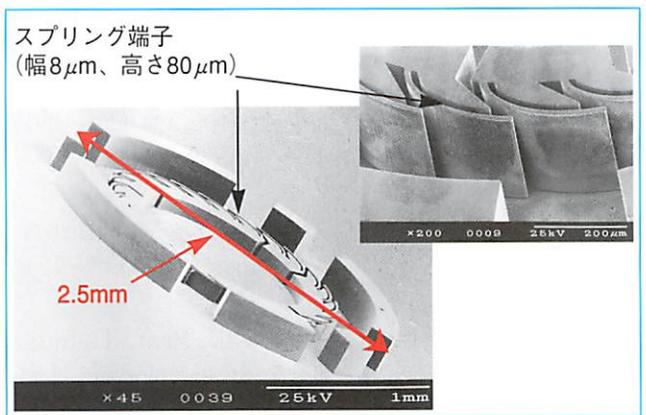


図2 マイクロコネクタ (メス側)

## 3. 今後の取り組み

LIGA技術は、アスペクト比30以上、加工精度 $\pm 0.5\mu\text{m}$ が実現でき、金属、樹脂、セラミックスなど多様な材料の加工に適用できることから、将来が非常に楽しいマイクロマシン技術です。今後は、他のマイクロマシン技術との融合を図り、適用分野の拡大を目指すとともに、低コスト化に力を入れ、21世紀を切り拓くユニークな製品を生み出していきたいと考えています。

## 2000マイクロマシン欧州ミッション

マイクロマシン欧州セミナー開催の際に、現地の研究機関の訪問を行いました。

**訪問場所：**Industrial Institute of Electronics (PIE)  
ポーランド ワルシャワ

**日 時：**9月5日(火)

**面談者：**Dr. Jerzy. Kern、Prof. Marek Generaほか

**概 要：**

メカトロニクス、オートメーション、機械加工等、幅広い研究が行われています。

**訪問場所：**Institute of Electronic Materials Technology (ITME) ポーランド ワルシャワ

**日 時：**9月5日(火)

**面談者：**Prof. Dr. Andrzej Jelenski, Mr. Tadeusz Zerolほか

**概 要：**

280名の従業員と12名の教授から構成されます。40%が政府補助金によるアカデミックな研究、40%が開発的な取り組み、20%が販売による収入で運営されています。主な研究テーマとして、①シリコン、高温超電導体等、特殊な単結晶材料、②ファイバースコープ、光学フィルター等ガラス材料、③エピタキシャル技術、等に力を入れています。このうち、ガラス材料(フィルタ、イメージガイド)、単結晶材料、マスクなどは販売を行っているそうです。

**訪問場所：**University of Mining and Metallurgy, Department of Electronics クルコフ、ポーランド

**日 時：**9月6日(水)

**面談者：**Prof. Stanislaw Nowak, Prof. Tadeusz Pisarkiewicz, Dr. Andrzej Kolodziejほか



Industrial Institute of Electronics (ポーランド)にて

**概 要：**

クラコフは、かつてのポーランド王国の首都です。本大学は1919年に独立し、教授106名、職員3,828名を有し、採鉱、金属材料、電気・電子など14の学科から構成される工科大学です。訪問した電気学科は、MEMS研究の歴史は浅いのですが、これから学科の中心的技術にしていきたいとのことで、MEMS研究にける熱意を感じました。CADを用いたMEMSの構造設計、デバイスの評価技術などを研究していました。クリーンルームはありませんが、欧州のファンドリーを利用して $\mu$ TAS (micro total analysis system)を試作していました。

**訪問場所：**Fachhochschule Wiener Neustadt、オーストリア ウィーナノイスタット

**日 時：**9月7日(木)

**面談者：**Prof. Helmut Detter, Dr. Gordana Popovic (Technical University of Vienna)ほか

**概 要：**

Fachhochschule (略称FH)は、ウィーンから車で1時間弱の街、ノイスタットに位置する、実践的な教育研究を重んじる専門工科大学です。オーストリアには6校のFHがあります。ウィーンのFHは1994年に設立され、1,400名の学生がいます。学長のProf. Detterはウィーン工科大(TU)の教授も兼ねています。TUと共同で、バイオ・マイクロセンサ、精密加工、マイクロメカニズム、シミュレーション、光学デバイスなどの研究を進めています。

研究成果の事業化にも積極的で、FH、TUともベンチャー企業を有し、マイクロモルディングマシンを商品化しています。FHと隣接する工業団地では、ベンチャー企業育成を目的としたTechnology and Research Center (今秋オープン予定)を見学しました。



Fachhochschule Wiener Neustadt (オーストリア)にて

## マイクロマシン欧州セミナー開催される

2000年9月2日から9月13日にかけて、日本貿易振興会(JETRO) 業界交流ミッションの一環として、ポーランド(ワルシャワ)、オーストリア(ウィーン)、スイス(ローザンヌ)の3ヶ国で、それぞれ現地のマイクロマシン関連団体および研究機関と共同でセミナーを開催しました。これは、日本からの技術情報発信とともに、ヨーロッパのマイクロマシン関連団体および専門家との交流を目的としたものです。セミナーの詳細は以下の通りです。

### <日本からの講演題目と講演者>

#### "Future Prospect of Micromachine"

平野 隆之, (財)マイクロマシンセンター

#### "Medical Application of Micromachine"

太田 亮, オリンパス光学工業(株)

#### "The Microfactory in Japanese National R&D project"

安宅 龍明, セイコーインスツルメンツ(株)

#### "Multiple Distributed Micromachine System"

苗村 康次, 三菱電機(株)

#### "In-pipe Wireless Inspection Micromachine"

川原 伸章, (株)デンソー

#### "Micromachined Silicon Sensors"

岩岡 秀人, 横河電機(株)

#### "Applications of Deep X-ray Lithography"

平田 嘉裕, 住友電気工業(株)

### <各セミナーの概要>

#### 1. Joint Seminar Poland-Japan on Micromachining

[開催日]: 2000年9月4日(月)

[場 所]: 国立電子材料研究所 ポーランド ワルシャワ

[参加者]: 40名(ポーランド国内(特にワルシャワ、クラコフ周辺)の大学、研究機関等)

#### [内 容]:

ポーランド国立電子材料研究所と共催で実施しました。ポーランド側からは、大学と国立研究所等から、バイオセンサー、化学分析センサー等、について6件の講演がありました。最後の全体ディスカッションでは、日本の産業界とポーランドの研究機関との協力の可能性について、活発な議論が行われました。

#### 2. Joint Japan-Austria Seminar on MEMS

[開催日]: 2000年9月8日(金)

[場 所]: ウィーン工科大学、オーストリア ウィーン

[参加者]: 95名(オーストリアの企業、大学、研究機関)

#### [内 容]:

Austrian Society for Microsystem Technologyほかと共催で実施しました。多くの参加者を得、大変盛況でした。オーストリアからは、大学および企業から、通信ネットワーク、宇宙利用、車、材料科学、等、各分野でのターゲットを明確にしたマイクロマシン技術の研究開発について、9件の発表がありました。

#### 3. Swiss/Japan Micro-technology Seminar

[開催日]: 2000年9月11日(月)

[場 所]: EPFL(スイス連邦工科大学ローザンヌ校)、スイス ローザンヌ

[参加者]: 35名(スイスの大学、企業が中心)

#### [内 容]:

EPFL(スイス連邦工科大学ローザンヌ校)ほかとの共催で実施しました。スイス側からは、EPFLやヌシャテル大学から、ピエゾアクチュエータ、顕微鏡下で用いるナノツール、GHz帯域の共振器等、4件の研究事例が報告されました。



ワルシャワでのセミナー



ウィーンでのセミナー

# テクニカルレポート「マイクロマシンの計測評価法」の概要

慶應義塾大学 理工学部 教授 三井 公之

マイクロマシン技術は将来の有望な産業分野を担うものとして大きな期待を集めている。この技術は、機械工学、電気・電子工学、物理、科学、生物学、医学など多くの学問分野にまたがる典型的な境界領域技術である。現状では基礎的な研究開発段階にあり具体的な製品イメージが必ずしも明らかではないが、個々の要素技術が具体的な成果となって形を表しつつあり、将来その応用により広範な産業分野に大きな影響を及ぼすものと考えられる。このようなマイクロマシン技術の発展を加速し、広範な産業分野への普及を図るためには標準化が必要不可欠なものと考えられる。このため、マイクロマシンセンター標準化委員会計測評価法ワーキンググループ（計測評価法WG）では、マイクロマシン技術の基礎となる計測評価法の標準化を推進することを目的として調査研究を行ってきた。

対象とした分野は、平成5年度に国立研究所と研究賛助会員を対象としたアンケート調査を行い、計測対象としてのニーズの高かった形状・寸法、カートルク、流体関連、材料特性を選び、形状・寸法、カートルク、流体関連分野については平成6年度より、材料特性については平成7年度より調査研究を開始した。

平成11年度に、本調査研究の内容をテクニカルレポートとしてまとめる作業を進め、平成12年6月にテクニカルレポートとして（財）マイクロマシンセンターより発行された。

テクニカルレポート発行の目的は、第1に、マイクロマシン分野での計測技術の標準化項目を提案することにあるが、その他にも、平成6年度から10年度にかけて行われた調査研究報告書の内容をまとめる意味もある。各分野の文献調査結果では、出典等の他に内容の概略を含めているので、関連研究者、技術者に有効にご利用いただけるものと思う。

本テクニカルレポートはA5判全369ページで、「形状・寸法」、「力・トルク」、「流体関連」、「材料特性」の各サブワーキンググループ（SWG）がそれぞれ1章ずつ執筆している。内容の概要を示すために、以下に、各SWGによる調査結果のまとめ（提言）を記述しておく。

## 【形状・寸法】

種々のマイクロ部品の計測に使用できる、汎用的

な測定法、周辺技術の開発を推進する必要がある。このような測定法により様々な仕様の部品の測定データを積み重ねることで、標準化すべき具体的な項目が次第に明確になってゆくものと考えられる。また、ニーズ調査の結果によれば、非接触測定に対する要請が高かった。

測定手法を評価するためには、標準的な測定試料を個々の測定装置にて測定し、その結果を比較検討することが必要となろう。これにより各測定法の基本特性、測定評価可能な項目、精度等が明らかとなり、共通の土台に立脚しての議論が可能となる。従って、評価すべき測定項目を勘案した上で、標準的な測定試料の形状・寸法、材質を提案することが計測標準化を推進する上で必要となる。

現在JIS規格において示されていない3mm以下の部品の寸法公差に関しての検討を進める必要がある。部品を組み合わせてマイクロマシンを製作するためには、部品の互換性を確保することと、自動組立の容易さを実現する上で対象部品相互の寸法差の範囲を明確にしておくことが必要である。この観点から、微小部品の寸法公差を定めるための基礎的な作業を進める必要がある。

アスペクト比の高い微小穴や円筒の測定に関わるデータの設定、真円度測定機の測定子先端部の曲率半径などについてのJIS規格は、現在マイクロ部品測定には対応していないので、マイクロ部品の評価を考慮したJIS規格の整備が必要になる。

## 【力・トルク】

標準化の観点から今回の調査・検討の結果を概観すると、それぞれの試験方法、実験装置には、市販品を改良したもの、独自に実験装置を製作したもの、試験片そのものをダウンサイジングし、シリコン等で製作したもの等が見受けられる。大部分は、各研究者のアイデアをもとに独自に試験方法を考案し、分解能（精度）の極限をねらったもの、測定レンジの広範囲化をねらったもの等が見受けられる。

将来的には全世界共通の実験装置・実験条件・実験方法・評価方法を考案する必要がある。少なくとも力、トルクといった量の分野で、全世界的に統一して議論する場合には、統一化の可能性の高い評価方法をとる必要がある。測定ニーズから見た力・ト

トルク測定の課題は、市販測定装置の測定レンジ以下の領域の測定を要求される場合が多いことは予想されていたが、微小部位を対象とした測定が必要となること、アクチュエータの発生力・トルクは変位の影響を受けることに対する注意が必要なことが明らかになった。

微小部位測定の必要性が高いのは、マイクロアクチュエータがサイズを小さくしていくため不可避であるが、アクチュエータの寸法が小さくなるに従い、絶対的なストローク（可動範囲）が小さくなるため、偏位法では発生力による測定器側の変形に伴う測定位置ズレが、見かけの計測値に大きく影響することへの対応が必須となるし、トルク測定では測定半径の精度という問題を含め2重に測定位置設定の厳密さが求められる。

## 【流体関連】

機械式流体制御デバイスについては、マイクロポンプ、マイクロバルブ、流量センサについて、その特性の計測方法をまとめた。また、非機械式の流体制御デバイスの場合は、電気浸透流を応用した研究が多いが、その他にも新しいデバイス・制御方法が提案されており、標準的な特性評価方法の確立が要請されている。ただし、素子単独での特性評価が難しいという側面もあり、流体解析を目的としたシミュレーション技術とそのための適切なデータベースの構築が必要である。

データベースの構築を効率的に行うには、測定方法を統一し、研究機関同士が測定データを共有する必要がある。したがって、今後、各素子の標準化を推進するためには評価項目および評価パラメータの規格化が急務である。

マイクロ流体の物理現象の特異性は、マイクロチャネル流れの粘性摩擦係数や圧力分布などで徐々に明らかにされつつあるが、全般的に実験データが少なく、矛盾する実験データも見られる。なお、圧力等の物理量の計測標準化では、測定装置の仕様に加えて計測項目や分解能、チャネル形状とその材質、作動流体とその性質、および計測環境に関する精密な情報を記録する必要がある。実験データの積み上げによってマイクロ領域での物理モデルが解明されれば、数値シミュレーションが高機能のマイクロ流

体デバイスを設計、開発する上での重要な技術になるであろう。

## 【材料特性】

マイクロマシン用材料についての個々の試験法に関し、引張試験では試験片の板厚はサブ $\mu\text{m}$ から数十 $\mu\text{m}$ であるため、試片の曲げ剛性が極めて小さく、ハンドリング、試験機への装着方法が測定系に影響を与えないことの規定が必要である。また、材料の内部構造と試験片寸法の関係から、従来の巨視的材料特性と同様の取り扱いが困難な場合がある。

曲げ試験については、試験片形状寸法その他、支持具寸法や支点間距離についても大きな差があり、マイクロマシン用材料試験への適用には考慮すべき点が多い。片持ち梁を用いた試験法は、試験片作製や支持が困難ではないため、簡便な測定方法であると考えられる。また、この試験法では曲げ強度ではなく弾性係数の測定を行っている報告例が多い。これは、可動部が弾性領域で動作することを前提としているため、弾性係数が求めれば実用上問題はないためであろう。

硬さ試験方法のうち、薄膜の機械特性の評価には従来よりビッカース硬さ試験が用いられてきたが、マイクロマシン分野では、微小圧子による押し込み試験（ナノインデンテーション）が用いられるようになってきており、試験方法および試験機の検定についてISO規格が検討されている。

共振法を用いた弾性率の測定法は非破壊、非接触検査であるため、マイクロマシンにおける材料特性の測定方法として適したものであると考えられるが、空気のダンピングの影響等、測定値が有効となる測定条件に注意が必要である。

その他、機能性材料の例として、形状記憶合金コイルばねの定温荷重試験方法、定ひずみ熱サイクル試験方法、定ひずみ熱サイクル試験方法等のJIS規格があり、材料物性の他に、機能素子としての試験方法について規定されている。

## 機械加工の微細化をきわめる……精密機械加工技術

名古屋大学 工学研究科 教授 佐藤 一雄

前号まで2回にわたって、フォトリソグラフィを基本としてエッチングや薄膜形成で微細構造を作る技術を解説した。本号では、機械の加工技術として古くから知られてきた切削・研削・研磨加工、ならびに、比較的新しい放電加工、ビーム加工など、ひろく「精密機械加工技術」と分類・定義される技術でどのような微細加工が行われているかを紹介する。図1には、切削・研削・研磨・放電加工・ビーム加工の形態を示した。

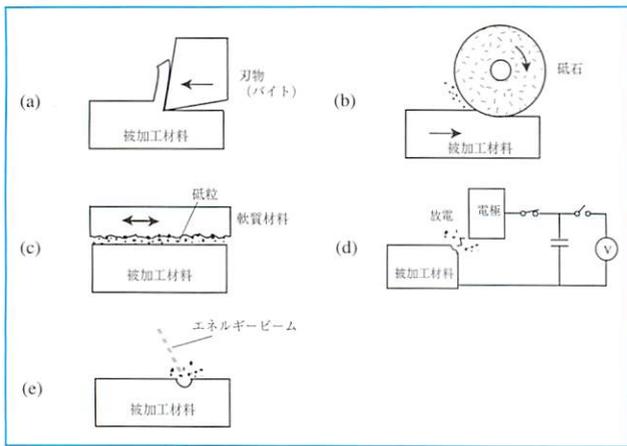


図1 各種機械加工の模式図

(a) 切削、(b) 研削、(c) 研磨、(d) 放電加工、  
(e) ビーム加工

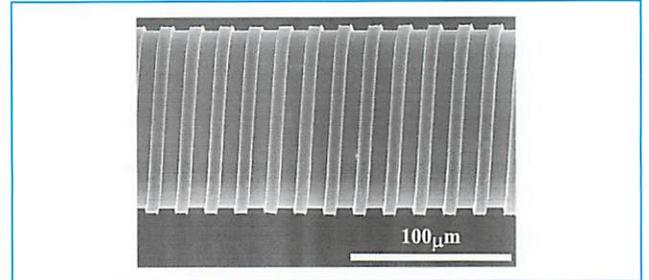
## 1. 切削・研削・研磨加工

切削は研削、研磨と並んで、古くから機械加工の中心技術であり、金属素材から高度な3次元形状を生み出すのに使われてきた。切削で微細加工が行われるためには以下のことが必要である。

- (1) 工具の切れ刃が鋭いこと、つまり、切れ味がよいこと
- (2) 工具と素材の相対運動が精密に行われること

(1)の目的では、工具として、硬度が高くまた金属との摩擦係数が小さいダイヤモンドが使用される。また、(2)の目的では、工具または素材に揺らぎのない精密な回転・並進運動を与える機構、また、工具を正確に送り出す機構が必要である。図2は、東大の樋口らが、独自に開発した微細加工機で、直径約0.1mmの軸を加工しさらにその表面にねじを切った例である。

研削は、細かい砥粒を固めた砥石を高速回転させて被加工物を除去する。多数の切れ刃のそれぞれが材料

図2 切削による微細なねじの加工例  
(山形、樋口のご好意による)

を僅かずつ除去するので、一般に切削よりも加工変質層が少なく、平滑な仕上げ面が得られる。しかし、砥粒が砥石から脱落することを前提とした加工法なので、微細な形状を加工する目的には不向きである。砥石は激しく摩耗するのだから、微細な砥石を作ることも意味がない。従って、微細な形状の加工には研削はほとんど使われない。

一方、研磨は、一般に形状創成よりもむしろ、固体の表面を平滑にする目的、また、加工変質層の少ない高品位の表面を得る目的、広い面の平坦度を得る目的、等で使われる。比較的広い面の平坦度を得る応用例としては、LSIの基板となるシリコン単結晶基板表面の加工、磁気ディスク記録ヘッドの最終仕上げ加工などに広く使われている。特に、シリコン単結晶基板表面の加工への応用では、表面にマイクロオーダーの薄い単結晶層を残すSOI (Silicon-On-Insulator) 基板の加工や、LSIを製作した結果凹凸化した表面を平坦化してさらにその上に3次元配線をするための下地を作るCMP (Chemical Mechanical Polishing) プロセスにおいて必須の技術となっている。シリコン基板上に展開されるマイクロマシンでも、Silicon-On-Insulator基板の利用、基板同士を貼合わせる際の表面の平滑化、などの目的で、研磨技術に負うところが大きい。

## 2. 放電加工

放電加工の原理は、電極と被加工物との間に制御された放電パルスを生じさせ、その熱エネルギーで被加工物を溶融飛散させて除去するものである。従来の主たる用途は、硬くて加工が難しい材料の加工、たとえば金属塑性加工用の型材料としての超合金の加工などであった。その加工原理から、加工効率は低いが、逆に微細加工ができることが注目され、マイクロマシンの加工への適用が研究されている。電極が微細になれば、

新たな技術課題として、電極の振動、電極の摩耗が、加工精度の低下をもたらすという問題が生じる。電極となる細いワイヤーを繰り出しながら、そのワイヤーの振動を防ぐ加工システムが東大の増沢らによって開発され実用化している。図3は微細放電加工機で加工された微小部品加工例である。放電加工では、機械加工における旋盤、フライス盤、ボール盤による加工に相当する形状創成をおこなうことができるので、自由度の高い3次元加工が可能である。一方、放電加工の短所は、表面が放電痕によって覆われて粗面化することである。平滑さが必要な場合には、放電加工した表面をさらに研磨して仕上げる必要がある。その他に、適用を制限する要因として、本質的に加工能率が低いこと、加工環境が清浄でないこと、などが挙げられる。

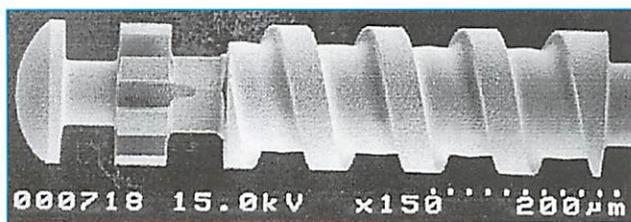


図3 放電加工による微細加工例  
(松下電器産業株のご好意による)

### 3. ビーム加工

レーザー光、電子、イオンなど、エネルギーをもった径の細いビームを被加工材に照射する事によって、材料を部分的に熔融飛散、蒸発・分解させることができる。ビームを走査する、あるいは被加工物を動かすなどして、照射位置を変えれば、自由な形状の加工ができる。

レーザー光としては、炭酸ガス、YAGなどのように熱エネルギーで材料を熔融飛散、蒸発させるものと、エキシマレーザーのように短波長の光源で材料の分子の結合を直接的に破壊して分解、蒸発させてしまうものがある。一般にレーザービーム加工は、金属、プラスチック、セラミック素材など各種材料の穴あけ加工に適用されている。

電子ビーム、イオンビームは、いずれも電荷を持った粒子だから、電場によって加速され、それによって高いエネルギーをもって被加工材料に衝突する。電子ビームは主に熱的な作用によって、また、イオンビームは主に物理的な衝撃によって材料を除去する。電子ビーム加工では、材料を熔融、蒸発させるので、熱的なレーザー加工と同様に、熔融した飛沫が被加工物の表面に再付着することもある。イオンビーム加工は、被加工材料に熱的なダメージを与えないから、電子顕微鏡による断面観察資料の作成にも適用されるほどである。

一方、電子やイオンのように電荷を持った粒子は、絶

縁体の表面に照射されると表面を帯電させてしまい、あとからやってくるイオンの速度を減速し加工効率を落としてしまう。これを避けるため、加速したイオンビームに電子ビームをあてて電荷を持たないアトムビームとして加工することも行われる。アルゴンのアトムビームで微細加工を行う装置が開発されている。

以上に述べた加工技術の加工原理、長所・短所を比較して、表1にまとめた。

表1 各種精密機械加工技術の加工原理とその長所・短所

	加工の原理	長所	短所
切削加工	切り刃による被加工物の物理的な分離。	3次元の形状創成が可能。	切削痕が残る。小直径の穴加工は難しい。
研削加工	細かい砥粒を固めた砥石による被加工物の物理的な分離。	加工表面は比較的平滑。	砥石の微細化は難しい。小直径の穴加工はできない。
研磨加工	浮遊する砥粒による被加工物の物理的な分離。	表面の平滑化に最も適する。	主に平面の加工。被加工物の形状制御が難しい。
放電加工	放電による被加工物の熔融飛散。	硬い材料も加工できる。	表面が粗面化する。加工能率が低い。
ビーム加工	ビーム照射による被加工物の熔融飛散、蒸発・分解蒸発。	硬い材料も加工できる。	飛散した溶融物が再付着する。

### 4. 機械加工の応用分野を考える

機械加工は、NC化を図ることによって、複雑な3次元曲面を形成することが出来る。この点で、加工の自由度はリソグラフィ応用加工に比べて遙かに優れる。しかし、その適用はあくまでも少量生産に限られるので、そのインパクトは限られた応用分野、例えば、内視鏡やカテーテルなどの高機能化、実験機器の製作などに役立つものと考えられる。これとは対照的に、リソグラフィ応用加工では、製作する多数の微小な機械要素をシリコンチップ上に正確な位置に配列させることができること、また、製作できる機械要素の数が、1個のシリコンチップ上でも百万個にも及ぶことなど、生産性と工業的な波及効果の観点からは格段に優れている。情報通信分野、民生品分野ではこのような加工の特性が十分に生かされる。このように、機械加工とリソグラフィ応用加工の特徴の違いは、それぞれの応用分野の違いとなって現れる。他方、機械加工とリソグラフィ応用加工の複合にも注目すべきだろう。シリコン基板表面の研磨加工技術、リソグラフィ応用加工による放電加工電極の一括大量形成などは、その好例である。

## 第8回（平成12年度）マイクロマシン技術に関する研究助成 課題応募の締切り迫る

財団法人 マイクロマシンセンター は通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発プロジェクト「マイクロマシン技術の研究開発」を新エネルギー・産業技術総合開発機構より受託し、その研究開発を進めると共に、自主事業としてマイクロマシン技術に関する各種の調査研究や普及啓発事業を行っております。

この自主事業の一環として、本年度もマイクロマシン技術に関する基礎的研究課題に対して研究助成を行いますので、下記の要領をご参照のうえ、ふるってご応募下さい。

### 記

#### 1. 研究助成の対象

マイクロマシンの基盤技術、機能要素技術、システム化技術に関する基礎的研究。

#### 2. 研究期間

テーマA：平成13年4月～平成14年3月31日までの1年間

テーマB：平成13年4月～平成15年3月31日までの2年間

#### 3. 課題募集期間と課題決定及び助成金交付時期

募集期間：平成12年7月1日～10月31日（当日消印有効）

決定時期：平成13年3月中旬

助成金の交付：平成13年3月下旬

#### 4. 応募方法

応募用紙を、下記 財団法人 マイクロマシンセンター へ、送付先を明記のうえ、Faxにて請求して下さい。

#### 5. 応募資格

下記の学協会等に所属する大学教員（教授、助教授、講師及び助手）。

インテリジェント材料フォーラム、(社)応用物理学会、(社)計測自動制御学会、(社)高分子学会、次世代センサ協議会、(社)精密工学会、(社)電気学会、(社)日本エム・イー学会、(社)日本機械学会、日本人工臓器学会、日本生物物理学会、日本DDS学会、日本バイオマテリアル学会、(社)日本ロボット学会、(社)日本パーソナルコンピュータユーザ利用技術協会、マイクロマシン研究会、マイクロメカトロニクス研究会  
〈以上五十音順〉

#### 6. その他

##### (1) 助成金総額：1,500万円程度

（一件につき、テーマAは200万円、テーマBは300万円を限度とする）

##### (2) 本事業は、産学交流の促進を目的の一つとしているため、助成の決定後、財団法人マイクロマシンセンターの賛助会員企業等との共同研究をお願いすることがあります。

##### (3) 問い合わせ先：財団法人マイクロマシンセンター 研究部（担当：程野）Email:hodono@mmc.or.jp 〒101-0048東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル5階

TEL：03-5294-7131

FAX：03-5294-7137

表紙のことは：マイクロマシン絵画コンテスト入賞作品：上から、遭難防止マシン、はいすいこうをとって  
もきれいにする君、地雷感知器、マイクロマシンのリトルかんごふ・ピチ・ミニャ

## 編集後記

本誌がお手元に届く頃は過ごしやすい気候になっていることと思われるが、現在は夏の真っ盛りで連日最高気温が30度を上回っている。昼間はオフィスの中にいる限りこの暑さを感じなくて助かるが、COP3合意による環境目標を達成するのにこの温度でよいのかという後ろめたさを感じている。

さて本誌の巻頭言は特許庁の八日市谷上席審査長にお願いした。現在では特許は単に発明者の排他的利益の保障にとどまらず、国の技術戦略と密接に関連し、経済戦争の武器としての側面を持ってきている。マイクロマシンが特許分類の中に一つの席を与えられたということは、プロパテント時代の土俵にマイクロマシンが登場したということでもある。この土俵の上では攻めと守りが交錯する。勝負に勝つためには攻めるだけが能ではない。守って勝つこともある。要は如何に優れた技を持つかということであろう。マイクロマシンの優れた基本特許が我々の関連する分野で出現することを期待したい。

## 発行 財団法人マイクロマシンセンター

発行人 平野 隆之

〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル5階

TEL.03-5294-7131. FAX.03-5294-7137

wwwホームページ：http://www.ijnet.or.jp/MMC/